不同抗药性品系甜菜夜蛾呼吸速率的比较

慕 卫[1,2]，吴孔明[1*]，郭予元[1]，张文吉[3]

(1. 中国农业科学院植物保护研究所,北京 100094； 2. 山东农业大学植物保护学院,山东泰安 271018；
3. 中国农业大学理学院，北京 100094)

摘要：以甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner)敏感品系(SS)及高效氯氟氰菊酯选育的抗性品系(RR)和近等基因系-抗性品系(NILs-RR)幼虫为试虫,在 25 ± 1℃,相对湿度 70%,光照强度 3 000 lx,光周期 14L∶10D 的条件下测定了 3～5 龄幼虫呼吸速率的变化。结果表明,抗性品系与敏感品系的同龄期甜菜夜蛾幼虫在不受药条件下的呼吸速率差异不显著,因此抗性水平的提高并未相应引起甜菜夜蛾本底呼吸速率的变化。高效氯氟氰菊酯处理幼虫后,各品系的呼吸速率均随剂量的提高而相应提高,以各品系相应 LC_{20} 和 LC_{50} 剂量处理后的呼吸速率,NIL_S-RR 明显高于 RR,两者又明显高于 SS 品系。两个抗性品系呼吸速率峰期均出现在药后 5 h,而敏感品系出现在药后 2 h,敏感品系保持较高呼吸速率的时间短,而抗性品系维持高水平呼吸速率的时间长,分别于药后 15 h 和 24 h 恢复到正常水平,这表明用药后抗性品系呼吸速率的提高幅度与代谢解毒能力存在一定相关性。

关键词：甜菜夜蛾；抗药性；抗性品系；敏感品系；呼吸速率；高效氯氟氰菊酯

中图分类号：Q965 文献标识码：A 文章编号：0454-6296(2005)06-0881-05

Comparison of the respiratory rate among different resistant strains of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera：Noctuidae) to *lambda*-cyhalothrin

MU Wei[1,2], WU Kong-Ming[1*], GUO Yu-Yuan[1], ZHANG Wen-Ji[3] (1. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China； 2. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China； 3. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract：Respiratory rates of 3 – 5 instar larvae of the susceptible strain (SS), near isogenic lines-resistant strain (NILs-RR), resistant strain (RR) of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) to *lambda*-cyhalothrin were determined under the condition of 25 ± 1℃, RH 70%, illumination 3 000 lx and photoperiod 14L∶10D. The results indicated that there were no significant differences in the respiratory rates of the same instar larvae among the three strains, and the increase of resistance level to *lambda*-cyhalothrin did not resulted in the change of the fundamental respiratory rate. Treated with *lambda*-cyhalothrin, all the larva respiratory rates of the three strains increased with the increase of treatment dose. However, the respiratory rate of the NILs-RR strain was higher than that of the RR strain, and both were higher than that of the SS strain under their respective LC_{20} and LC_{50} doses. The highest respiratory rate of the two resistant strains and the susceptible strain appeared at 5 h and 2 h after treatment, respectively. The high level periods of the respiratory rates in the two resistant strains were significantly longer than that of the susceptible strain. It would take 24 h and 15 h respectively for the resistant strain and the susceptible strain to recover to the initial levels of their respiratory rates. It was so inferred that correlation existed in some extent between the increasing rates of the respiratory rate and the ability of detoxification metabolism to *lambda*-cyhalothrin in *S. exigua* larvae after treatment.

Key words：*Spodoptera exigua*；insecticide resistance；resistant strain；susceptible strain；respiratory rate；*lambda*-cyhalothrin

---

基金项目：国家重点基础研究发展规划'973'项目(G2000016207)

作者简介：慕卫，女，1971 年生，山东泰安人，博士，副教授，主要从事昆虫毒理学研究工作，Tel.：0538-8242611；E-mail：muwei@sdau.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：wkm@caascose.net.cn

收稿日期 Received：2004-11-19；接受日期 Accepted：2005-05-12

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*（Hübner）是重要的农业害虫之一，抗药性是其大面积灾变的主导因素。国内外先后报道了该虫对多种杀虫剂尤其是对菊酯类药剂产生了高水平的抗药性，并对抗性的生化机制开展了较多的研究（van Laecke *et al*., 1995；Aldosari，1996；慕卫等，2002b；刘永杰和沈晋良，2003）。呼吸代谢是昆虫生理活动的重要指标，以往的研究主要集中在不同虫态或龄期昆虫的呼吸代谢规律和病毒侵染或药剂处理后昆虫呼吸代谢的改变（吴坤君和龚佩瑜，1984；Adamek and Fisher，1985；王满困和李周直，2001；崔志新等，2001；王开运等，2001），而对抗药性和呼吸代谢关系的研究则鲜见报道。我们利用所获得的抗高效氯氟氰菊酯近等基因系为材料，系统研究了敏感和抗性品系甜菜夜蛾幼虫在受药前后或不同受药剂量等条件下呼吸速率的变化，从能量的角度探讨敏感品系与抗性品系的差异。

1 材料和方法

1.1 供试甜菜夜蛾及饲养方法

敏感品系（SS）：1996 年采自湖北恩施，采用反汰选获得敏感品系（慕卫等，2003）。

抗性品系（RR）：1999 年采自北京海淀区马连洼菜地，用高效氯氟氰菊酯汰选 10 代后获得，其对高效氯氟氰菊酯具有稳定的抗性。

近等基因系（near isogenic lines，NILs）-抗性品系（NILs-RR）：以 RR 品系为父本、SS 品系为母本，经过杂交回交选育 6 次循环后获得的高抗品系，对高效氯氟氰菊酯的抗性水平与 RR 品系相当（慕卫等，2004）。

饲养方法参照慕卫等（2002a）人工饲养方法。

1.2 毒力测定方法

用 93.2% 高效氯氟氰菊酯原药（英国捷利康公司）配制 2.5% 高效氯氟氰菊酯乳油作为供试药剂。测定时将高效氯氟氰菊酯乳油用蒸馏水稀释成不同浓度，以甜菜夜蛾 SS、NILs-RR 和 RR 品系 3、4、5 龄幼虫为材料。将试虫在不同浓度药液中浸渍 2 s，后放入装有人工饲料的 24 孔盒内饲养，每浓度用虫 24 头，重复 3 次，以 24 h 后死亡率按剂量分组进行统计分析（POLO 法）。

1.3 呼吸速率测定

1.3.1 正常幼虫的呼吸速率测定：采用光合作用测定仪 CI-301PS CO_2 GAS Analyzer（CID. Inc）测定一定时间内未接触药剂幼虫呼吸排出的 CO_2 量。测定在养虫室内进行，光合作用测定仪的导气管置于 20 L 的玻璃气体缓冲瓶中，养虫室温度 25 ± 1℃，相对湿度 70%，光照强度 3 000 lx，光周期 14L∶10D。测定从养虫间每天开始光照后 2 ~ 4 h 之内完成。分别选取 SS、NILs-RR 和 RR 三品系甜菜夜蛾 3、4、5 龄蜕皮后 1 日龄正常幼虫各 5 头，称重后放入仪器的呼吸室内（不加人工饲料），密封好后，当仪器显示数值基本稳定后开始记录，连续记录 5 个数据。每处理重复 5 次。呼吸速率以每克虫体鲜重每小时产生 CO_2 的微升量（$\mu L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$）表示。

1.3.2 施药对 4 龄幼虫呼吸速率的影响：将高效氯氟氰菊酯乳油分别用蒸馏水稀释成不同浓度药液，将试虫在药液中浸渍 2 s 后放入装有人工饲料的 24 孔盒内在养虫间正常饲养，分别于药后 15 min、1 h、2 h、5 h、10 h、15 h 和 24 h 随机取 5 头没有明显中毒症状的存活试虫称重，测定试虫呼出 CO_2 量（测定时不加人工饲料），每次测定后，试虫放回养虫盒内继续饲养。每处理重复 5 次，同时测定不用药幼虫呼吸速率。测定从养虫间每天开始光照 2 h 后开始进行。

2 结果与分析

2.1 不同品系甜菜夜蛾幼虫呼吸速率的比较

由表 1 可见，高效氯氟氰菊酯对抗性品系 NILs-RR 和 RR 相同龄期幼虫的毒力相似，分别是敏感品系 3 龄幼虫的 248 和 246 倍、4 龄幼虫的 299 和 244

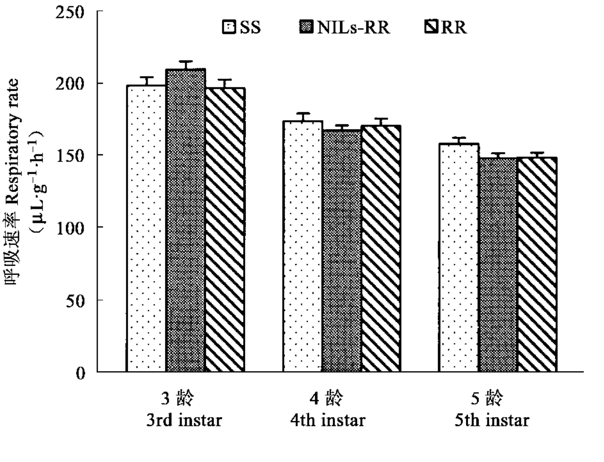

图 1 不同龄期 SS、RR 和 NILs-RR 品系甜菜夜蛾幼虫的呼吸速率

Fig. 1 Respiratory rates of different instar larvae of the SS, RR and NILs-RR strains of *Spodoptera exigua*

倍、5 龄幼虫的 206 和 182 倍。3 个品系同龄期幼虫的呼吸速率差异不显著，表明抗性品系与敏感品系相比呼吸速率未发生变化，即抗药性并未影响甜菜夜蛾的呼吸速率(图 1)。

表 1　高效氯氟氰菊酯对不同龄期敏感品系和抗性品系甜菜夜蛾的毒力

Table 1　Toxicities of *lambda*-cyhalothrin to different instar larvae of the resistant and susceptible strains of *Spodoptera exigua*

品系 Strain	单头平均体重* Mean weight per larva (mg)	b 值(± 标准误) b value (± SE)	LC_{50} (μg/mL) (95% CL)	抗性倍数 Resistance ratio
3 龄 3rd instar				
SS	11.6 ± 1.5 c	2.850 ± 0.614	0.560 (0.424 ~ 0.733)	1
RR	11.2 ± 1.5 c	1.975 ± 0.544	137.763 (118.638 ~ 166.649)	246
NILs-RR	10.5 ± 1.4 c	2.575 ± 0.491	138.834 (111.842 ~ 171.052)	248
4 龄 4th instar				
SS	43.3 ± 3.1 b	2.185 ± 0.453	0.962 (0.686 ~ 1.303)	1
RR	40.6 ± 2.9 b	1.877 ± 0.442	235.152 (195.191 ~ 294.049)	244
NILs-RR	42.6 ± 2.7 b	2.337 ± 0.510	288.050 (214.462 ~ 411.521)	299
5 龄 5th instar				
SS	92.7 ± 3.8 a	2.046 ± 0.404	2.672 (1.652 ~ 3.979)	1
RR	94.8 ± 5.0 a	2.195 ± 0.562	485.852 (436.854 ~ 558.364)	182
NILs-RR	92.8 ± 4.4 a	2.256 ± 0.377	549.320 (494.420 ~ 615.852)	206

平均值后为标准差 数据后标有不同字母表示差异显著($P < 0.05$，Duncan 新复极差法)。SS、RR 和 NILs-RR 分别代表高效氯氟氰菊酯亲本敏感品系、亲本抗性品系和近等基因系-抗性品系。

Data are mean ± SD, and those followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). SS, RR and NILs-RR represent the susceptible parent strain, the resistant parent strain to *lambda*-cyhalothrin and the near isogenic lines-resistant strain, respectively.

2.2　高效氯氟氰菊酯不同剂量处理对不同品系甜菜夜蛾呼吸速率的影响

由表 2 可见，3 个品系 4 龄幼虫不用药处理后随时间延长它们的呼吸速率之间无显著差异。

高效氯氟氰菊酯对敏感品系致死率为 20% 的剂量为 0.25 μg/mL，其对 NILs-RR 和 RR 两抗性品系的致死率均为 0，用该剂量处理甜菜夜蛾 NILs-RR、RR 和 SS 品系 4 龄幼虫后呼吸速率随时间的变化见表 3。处理后 1 ~ 2 h 三个品系的呼吸速率均有明显提高，呼吸速率峰值均出现在 2 h 前后，10 h 后三品系呼吸速率接近正常水平。

分别用高效氯氟氰菊酯对 SS、NILs-RR 和 RR 品系 4 龄幼虫各自的 LC_{20} 剂量即 0.25 μg/mL、50 μg/mL 和 50 μg/mL(表 3)以及 LC_{50} 剂量即 1 μg/mL、250 μg/mL 和 250 μg/mL (表 4) 处理幼虫。不同剂量处理各品系后甜菜夜蛾的呼吸速率变化趋势为 :药后三品系呼吸速率随处理剂量的提高而相应提高 ;比较抗性及敏感品系试虫相同毒力水平药剂剂量处理后的呼吸速率，在药后 1 ~ 10 h 之间，NILs-RR 明显高于 RR，两者又明显高于 SS 品系。2 个抗性品系呼吸速率峰期均出现在药后 5 h，而敏感品系出现在药后 2 h ;敏感品系保持较高呼吸速率的时间短，药后 15 h 呼吸速率进入正常水平，而抗性品系维持高水平呼吸速率的保持时间长，至药后 24 h 才接近敏感品系的呼吸速率(表 4)。

表 2　未用高效氯氟氰菊酯处理甜菜夜蛾 **SS**、**RR** 和 **NILs-RR** 品系呼吸速率的差异

Table 2　Comparison of the respiratory rate among the SS, RR and NILs-RR strains of *Spodoptera exigua* 4th instar larvae untreated *lambda*-cyhalothrin with as the control

品系 Strain	处理剂量 Dose (μg/mL)	施药后不同时间幼虫呼吸速率 Respiration rate of larvae in different time post-treatment						
		15 min	1 h	2 h	5 h	10 h	15 h	24 h
SS	0	149.3 ± 4.2 a	151.7 ± 4.9 a	154.8 ± 4.7 a	151.6 ± 4.0 a	145.5 ± 3.4 a	147.5 ± 4.6 a	148.4 ± 3.5 a
NILs-RR	0	147.8 ± 5.7 a	153.2 ± 4.8 a	149.6 ± 4.6 a	143.7 ± 4.5 a	152.4 ± 5.0 a	150.5 ± 4.0 a	156.8 ± 5.8 a
RR	0	150.8 ± 5.7 a	153.6 ± 6.8 a	147.6 ± 3.3 a	148.7 ± 5.2 a	152.4 ± 6.5 a	152.4 ± 5.3 a	146.8 ± 6.6 a

数据为平均值 ± 标准差 ;同列数据后标有不同字母表示不同品系间差异显著($P < 0.05$，Duncan 新复极差法)。下同。

Data are mean ± SD, and those within a column followed by different letters mean significant difference among strains by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). The same below.

表 3 高效氯氟氰菊酯 LC_{20} 剂量处理后对甜菜夜蛾 SS、RR 和 NILs-RR 品系呼吸速率的影响

Table 3 Comparison of the respiratory rate among the SS, RR and NILs-RR strains of *Spodoptera exigua* 4th instar larvae treated with *lambda*-cyhalothrin in LC_{20} doses

品系 Strain	处理剂量 Dose (μg/mL)	施药后不同时间幼虫呼吸速率 Respiration rate of larvae in different time post-treatment						
		15 min	1 h	2 h	5 h	10 h	15 h	24 h
SS	0.25 (LC_{20})	147.2 ± 5.3 a	156.2 ± 4.8 c	171.1 ± 5.6 c	153.0 ± 5.3 c	146.9 ± 4.5 c	148.5 ± 5.1 b	150.7 ± 4.3 a
NILs-RR	0.25	152.1 ± 4.1 a	165.2 ± 5.3 c	176.7 ± 4.4 c	168.3 ± 5.1 c	154.3 ± 3.0 c	157.4 ± 5.3 b	155.8 ± 6.5 a
	50 (LC_{20})	141.2 ± 5.8 a	190.9 ± 3.2 a	199.5 ± 4.2 a	228.1 ± 5.4 a	183.0 ± 5.6 a	169.9 ± 5.4 a	158.3 ± 4.9 a
RR	0.25	149.4 ± 4.8 a	160.8 ± 5.3 c	173.8 ± 5.0 c	158.8 ± 3.9 c	150.2 ± 5.7 c	150.3 ± 4.0 b	153.7 ± 4.6 a
	50 (LC_{20})	153.5 ± 6.5 a	179.4 ± 5.3 b	182.8 ± 4.4 b	196.2 ± 4.7 b	174.0 ± 6.4 b	161.0 ± 5.3 ab	164.7 ± 4.9 a

表 4 高效氯氟氰菊酯 LC_{50} 剂量处理后对甜菜夜蛾 SS、RR 和 NILs-RR 品系呼吸速率的影响

Table 4 Comparison of the respiratory rate among the SS, RR and NILs-RR strains of *Spodoptera exigua* 4th instar larvae treated with *lambda*-cyhalothrin in LC_{50} doses

品系 Strain	处理剂量 Dose (μg/mL)	施药后不同时间幼虫呼吸速率 Respiration rate of larvae in different time post-treatment						
		15 min	1 h	2 h	5 h	10 h	15 h	24 h
SS	1 (LC_{50})	150.3 ± 4.9 a	168.3 ± 6.4 c	186.0 ± 4.3 c	184.9 ± 6.7 c	165.4 ± 3.8 b	156.6 ± 5.8 b	151.6 ± 4.4 a
NILs-RR	250 (LC_{50})	153.9 ± 4.2 a	210.4 ± 4.1 a	229.3 ± 4.2 a	245.5 ± 5.6 a	193.5 ± 4.1 a	174.1 ± 6.5 a	165.1 ± 3.1 a
RR	250 (LC_{50})	146.9 ± 4.7 a	196.8 ± 6.3 b	204.5 ± 5.3 b	225.6 ± 5.9 b	186.1 ± 4.6 a	168.4 ± 5.4 b	159.5 ± 5.2 a

3 讨论

本研究表明未接触杀虫剂的抗性与敏感品系同龄期试虫呼吸速率无明显差异，表明抗性的提高没有引起甜菜夜蛾本底呼吸速率的提高，这与近等基因系抗性与敏感品系适合度无明显差异（另文发表）相吻合。

昆虫遇到逆境时其呼吸速率很多会增强，这是生物代谢体内异物的生理、生化自卫反应（崔志新等，2001）。本研究表明抗性和敏感品系幼虫受药后均可导致呼吸速率的提高。其原因一方面是在药剂的作用下，因昆虫中毒兴奋或长时间痉挛而引起的，表现为随剂量的提高，中毒时间越长，呼吸速率增高的时间越长；另一方面是施药后昆虫的细胞代谢活动增加，使其氧消耗增加，这与昆虫的解毒作用有关联。作者曾测定高效氯氟氰菊酯穿透甜菜夜蛾表皮 50% 剂量时约需 5.5 h（另文发表），此时也是幼虫呼吸速率最高的时刻。抗性品系和敏感品系在对药剂的穿透速率以及代谢方面存在差异，因此对各自较高致死剂量处理的反应存在不同，对抗性品系诱导出的呼吸速率提高的幅度高于敏感品系的，峰期拖后，且持续时间延长，表明用药后抗性品系呼吸速率的提高幅度与代谢解毒能力存在一定相关性。

用高效氯氟氰菊酯相同剂量处理 NILs-RR 及 RR 品系的 4 龄幼虫，虽然两品系对高效氯氟氰菊酯处于同一抗性水平，LC_{50} 值接近，但药剂对 NILs-RR 品系诱导呼吸速率较明显高于对 RR 品系的。作者认为这与两抗性品系形成的背景不同有关，NILs-RR 品系是通过反复回交法将与甜菜夜蛾抗高效氯氟氰菊酯相关的基因转入不同来源的敏感品系中，从而构建了抗药性近等位基因系；而 RR 品系直接采自北京郊区田间，与近等基因系的抗性和敏感品系本身可能存在差异。可见药后甜菜夜蛾的呼吸速率差异不仅与抗药性有关，而且与品系的来源不同有关。

呼吸是一个复杂的过程，呼吸速率的高低除受遗传控制外，还受环境条件的影响。严格控制测定条件的一致性至关重要，除了试虫应标准化外，温度、湿度、光照的变化都会影响呼吸速率，所以测定结果的可比性应建立于严格的条件一致的基础上。另外抗性品系维持高呼吸速率的时间较长，但至药后 24 h 也接近正常水平，所以生物测定中检查高效氯氟氰菊酯对甜菜夜蛾毒力结果时用药后 24 h 的结果即可。

参考文献（References）

Adamek G, Fisher J, 1985. The oxygen consumption of non-dormant and dormant larvae of *Chironomus plumosus* (Diptera). *Journal of Insect Physiology*, 31(10): 767 – 772.

Aldosari SA, 1996. Susceptibility of field populations of beet armyworm to

cyfluthrin，methomyl，and profenofos，and selection for resistance to cyfluthrin. *Journal of Economic Entomology*，89：1 359－1 963.

Cui ZX，Lin JT，Zhao SH，2001. The effect of azadirachtin on respiration of nymphs of Chinese rice grasshopper. *Journal of Huazhong Agricultural University*，20(6)：544－546. [**崔志新，林进添，赵善欢**，2001. **印楝素对中华稻蝗若虫呼吸作用的影响. 华中农业大学学报**，20(6)：544－546]

Liu YJ，Shen JL，2003. Biochemical mechanism and genetics of resistance to *lambda*-cyhalothrin in the beet armyworm，*Spodoptera exigua*，and the relative fitness of the resistant strain. *Acta Entomologica Sinica*，46(5)：567－572. [**刘永杰，沈晋良**，2003. **甜菜夜蛾抗氯氟氰菊酯品系相对适合度、抗性生化机理及抗性遗传方式. 昆虫学报**，46(5)：567－572]

Mu W，Wu KM，Guo YY，Zhang WJ，2002a. Studies on rearing technique of *Spodoptera exigua* (Hübner) on artificial diet. *Chinese Journal of Cotton Science*，14(5)：287－290. [**慕卫，吴孔明，郭予元，张文吉**，2002a. **甜菜夜蛾的人工饲养技术. 棉花学报**，14(5)：287－290]

Mu W，Wu KM，Zhang WJ，2002b. The occurrence and IPM of *Spodoptera exigua*. *Beijing Agricultural Sciences*，20(1)：25－27. [**慕卫，吴孔明，张文吉**，2002b. **甜菜夜蛾的发生及综合防治. 北京农业科学**，20(1)：25－27]

Mu W，Wu KM，Guo YY，Zhang WJ，2003. Susceptible baseline of *Spodoptera exigua* (Hübner) resistance to pyrethroid insecticides. *Acta Phytophylacica Sinica*，30(2)：221－222. [**慕卫，吴孔明，郭予元，张文吉**，2003. **甜菜夜蛾对菊酯类杀虫剂敏感基线的建立. 植物保护学报**，30(2)：221－222]

Mu W，Wu KM，Guo YY，Zhang WJ，2004. Establishment of near isogenic line strains resistant to *lambda*-cyhalothrin in *Spodoptera exigua* (Hübner). *Acta Entomologica Sinica*，47(5)：591－594. [**慕卫，吴孔明，郭予元，张文吉**，2004. **抗高效氯氟氰菊酯甜菜夜蛾近等基因系的构建. 昆虫学报**，47(5)：591－594]

van Laecke K，Smagghe G，Degheele D，1995. Detoxifying enzymes in greenhouse and laboratory strain of beet armyworm. *Journal of Economic Entomology*，88(4)：777－781.

Wang KY，Jiang XY，Yi MQ，Sun XZ，2001. Effects of four insecticides on respiratory metabolism of resistant cotton bollworm larvae. *Chinese Journal of Pesticide Science*，3(2)：24－28. [**王开运，姜兴印，仪美芹，孙学振**，2001. 4 **种杀虫剂对棉铃虫抗药性种群幼虫呼吸代谢的影响. 农药学学报**，3(2)：24－28]

Wang MQ，Li ZZ，2001. Respiratory metabolism during the larval stage of the cypress sawfly，*Chinolyda flagellicornis*. *Acta Entomologica Sinica*，44 (3)：311－315. [**王满困，李周直**，2001. **鞭角华扁叶蜂幼虫期的呼吸代谢. 昆虫学报**，44 (3)：311－315]

Wu KJ，Gong PY，1984. Respiratory metabolism of cotton bollworm. *Acta Entomologica Sinica*，28(1)：22－29. [**吴坤君，龚佩瑜**，1984. **棉铃虫的呼吸代谢. 昆虫学报**，28(1)：22－29]

（责任编辑：黄玲巧）